

# Planta de biogás no típica. Fermentación con sustratos sólidos

## Biogas Plant Non-Typical. Fermentation with Solid Substrates



<https://cu-id.com/2177/v33n3e10>

Carlos M. Martínez Hernández<sup>I\*</sup>, Hans Oechsner<sup>II</sup>

<sup>I</sup>Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas Santa Clara, Villa Clara

<sup>II</sup>Universidad de Hohenheim. State Institute of Agricultural Engineering and Bioenergy. Germany.

**RESUMEN:** El trabajo se refiere a la utilización de una planta de biogás no típicas en Alemania. La primera parte se refiere a la explotación de plantas de biogás que no utilizan sustratos líquidos (excretas porcinas o vacunas) en co-fermentación con materiales agrícolas en Alemania para producir biogás. En este caso, se describen los principios y métodos que se utilizan en este país para explotar estas instalaciones y su tendencia hacia el futuro. La segunda parte trata de estos mismo tópicos en el ámbito de Cuba. La tercera parte se discuten: si estos sistemas son viables y serían posibles introducir en Cuba o en países del llamado Tercer Mundo?. De esta forma, el objetivo del presente trabajo es divulgar este tipo de tecnología de producción de biogás, la cual se realiza en este país y su factibilidad de ser introducida en los países del llamado tercer mundo.

**Palabras clave:** sustratos líquidos, Alemania, Cuba, Tercer Mundo.

**ABSTRACT:** The work refers to the use of a plant of non-typical biogas in Germany. The first one leaves it refers to the exploitation of biogas plants that it doesn't use liquid substrates (pig or cow manure) in co-fermentation with agricultural materials in Germany to produce biogas. In this case, the principles and methods are described that are used in this country to exploit these facilities and their tendency toward the future. The second part of the part is about these same topics in the environment of Cuba. The third leave they discuss: if these systems are viable and would be possible to introduce in Cuba or in countries of the call “Third World”? This way, is the objective of the present work to disclose this type of technology of biogas production, which is carried out in this country and its feasibility of being introduced in the countries of the call “third world”.

**Keywords:** Liquid Substrates, Germany, Cuba, Third World.

### INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo, se realiza un acercamiento a un tipo de planta de biogás que utiliza la fermentación de sustratos sólidos para la producción de biogás. Este tipo de planta no es típica en Alemania y por esta razón parece importante realizar un acercamiento a la misma. De aquí la importancia de conocer: Qué, Cómo y Porque?, son utilizadas estas plantas en el contexto alemán.

Sobre esta base, el trabajo se propone como **objetivo** dar a conocer las características tecnológicas de este tipo de instalación. De esta forma se potencia el conocimiento en esta dirección y pudiera analizarse la posibilidad extrapolarse a países con un menor desarrollo (tercer mundo).

### DESARROLLO DEL TEMA

#### Caso alemán

En Alemania existen grandes compañías dedicadas a la construcción y explotación de plantas de biogás dentro de las cuales se encuentra la BioGas Leinfelden-Echterdingen ([Northdata, 2013](#)). En este caso esta empresa fue la encargada de construir y poner en explotación la planta que se detallará más adelante. La cual se encuentra en funcionamiento desde 2013. Esta empresa posee un website ([www.northdata.com/Biogas+Leinfelden-Echterdingen+GmbH+%26+Co.+KG,+Leinfelden-Echterdingen/Amtsgericht+Stuttgart+HRA+721484](http://www.northdata.com/Biogas+Leinfelden-Echterdingen+GmbH+%26+Co.+KG,+Leinfelden-Echterdingen/Amtsgericht+Stuttgart+HRA+721484))

\*Autor para correspondencia: Carlos M. Martínez Hernández, e-mail: [carlosmh@uclv.edu.cu](mailto:carlosmh@uclv.edu.cu)

Recibido: 24/11/2023

Aceptado: 14/06/2024

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

**CONTRIBUCIONES DE AUTOR:** **Conceptualización:** C. Martínez. **Curación de datos:** C. Martínez. **Análisis formal:** C. Martínez; H. Oechsner. **Investigación:** C. Martínez; H. Oechsner. **Metodología:** C. Martínez. **Supervisión:** C. Martínez; H. Oechsner. **Redacción-borrador original:** C. Martínez. **Redacción, revisión y edición:** C. Martínez; H. Oechsner.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)

donde se brindan algunos datos productivos, pero enfatizando que estos son para sus clientes selectivos. Es un dossier (expediente) que detalla el historial de la empresa, las redes, el desarrollo financiero, los indicadores de trabajo, las ganancias y las pérdidas etc. También posee una serie de tablas excel donde reportan anualmente sus indicadores productivos desde 2013 hasta la actualidad.

En Alemania, las universidades apoyan la investigación y desarrollo de este tipo de instalaciones, al mismo tiempo que estas empresas apoyan a las mismas con materiales y financiamiento para ejecutar sus proyectos de investigación. De esta forma, se cierra el círculo de la inversión-producción y todos ganan.

La Universidad de Hohenheim mantiene estrechas relaciones de trabajo e investigación con empresas de este tipo de carácter regional, nacional o internacional. En los eventos científicos, forum, ferias o actividades de promoción, estas empresas presentan sus nuevas producciones y al mismo tiempo ayudan con el financiamiento (sponsor) de los diferentes eventos. Los proyectos que se generan en las Universidades tiene como objetivo la industria o sea la producción y generalmente estas son las que lo financian. Por otra parte, los usuarios de los proyectos, a su vez son los dueños y de esta forma se cierra el círculo del dinero invertido. Ya que el capital que ellos aportan, lo recuperan y obtienen ganancias una vez que las plantas se ponen en explotación. Previo a todo esto se destaca que las Universidades alemanas, tienen caracterizados los sustratos agrícolas respecto a su potencial para la generación de biogas. Existe normas al respecto como la [VDI-RICHTLINIEN-4630\(2006\)](#), la cual normaliza todos los procedimientos a efectuar para poder determinar el potencial de cualquier biomasa que se desee investigar. Además, existen empresas como la [KTBL \(2018\)](#), que posee un sitio web (<https://www.ktbl.de>), donde se puede determinar de antemano la producción de biogas que se puede obtener en dependencia de: tipo de sustrato, porcentaje de materia fresca, porcentaje de materia orgánica, cantidad de sustrato a cargar, tipo de planta de biogas a utilizar; costo de los sustratos, producción anual de biogas y rendimiento de metano esperado etc. A continuación se pasará a describir la planta objeto de análisis. Esta planta está formada por 5 digestores de concreto en forma de silo bunker herméticamente cerrado con paredes techos y puertas. Las cuales permiten la entrada y salida del material a fermentar mediante equipos de transporte especiales (cargadores frontales con diversas aditamentos), los cuales le permiten: evacuar los sustratos digeridos o introducir los sustratos frescos. La planta la operan tres obreros (el manager, un operador del cargador frontal y un operador del esparcidor de abono orgánico). La carga y el vaciado de los digestores se realiza con cargador frontal que introduce en el interior de estos digestores el material a fermentar (pacas redondas de

henaje y material procedente del ensilaje del maíz) en estos contenedores para su fermentación. Esta tecnología es „Batch o semicontinua“, esto significa que una vez terminado el ciclo de biodigestión (35 días), el fermentador se vacía y se vuelve a cargar para un nuevo ciclo. En el interior de estos contenedores de concretos se encuentran localizados en su techo una duchas, las cuales cada cierto intervalo de tiempo riegan a todos estos sustratos los remanentes líquidos de otras digestiones anteriores (lechadas), así como inóculos especiales para acelerar el proceso de fermentación mesofílico con una duración de 35 días. Estas cámaras de digestión tienen unas dimensiones aproximada de: 20m x 4m x 4m (largo ancho, altura). Las mismas tienen un desnivel desde la entrada hasta el final de 1,5°. Esto permite que los efluentes (lechadas) generados durante la biodigestión de los sustratos en cada cámara de biodigestión (biodigestor) sean recogidos y enviados a una cisternas comun donde se almacenan y recirculan constantemente y así de esta forma se garantiza la calidad y cantidad de inóculo que activará el funcionamiento del nuevo ciclo de fermentación. Las cinco cámaras de fermentación pueden trabajar simultáneamente o en paralelo. Lo normal, es que funcionen en paralelo, de esta forma se hace más fácil el trabajo de cargar (con sustratos fresco) y descargar los (sustratos digeridos) por los obreros de la instalación, debido al gran volumen de trabajo de cada cámara de fermentación. En el segundo nivel de las cámaras (parte superior de estas cámaras) se encuentra instalado todo el equipamiento necesario que: permite el rociado del efluente sobre cada cámara, además del sistema que capta el biogás, lo envía al depósito para su almacenamiento y de aquí se envía a los motores de combustión interna para generar electricidad. Al mismo tiempo que generan electricidad, también generan vapor para calentar el agua, que será empleada en la calefacción. Finalmente, el techo de la instalación, se encuentra revestido en su totalidad de paneles fotovoltaicos. De esta forma, se emplean simultáneamente dos fuentes renovables de energía para el consumo de la instalación y para la venta de los excedentes a una comunidad cercana nombrada „Echterdingen“ durante todo el año, con la cual se tiene un contrato a tales efectos. El objetivo de esta planta es producir biogas y vender electricidad y calor a la comunidad de „Echterdingen“ y como subproducto obtener abono orgánico para los productores asociados a la planta.

### **Criterio de los autores de este trabajo**

este sistema presenta como ventajas: no tener que utilizar excretas líquidas porcinas o vacunas y de este modo no es necesario tener una instalación de este tipo próximo a la planta de biogás, lo cual sobre todo en las cercanías de las ciudades, no son bien acogidas por la población.

Por otra parte, una vez digeridos los sustratos, estos se sacan al exterior donde se cargan en medios de transporte y de aquí se trasladan hacia los campos donde serán exparcidos en forma de abono orgánico por los equipos especializados en esta actividad. Cerrando el círculo entre los sustratos fresco que son digeridos y los fermentados que son utilizados en la biofertilización del suelo de los productores asociados a la planta de biogás. Los sustratos sólidos frescos que se utilizan son producidos por un grupo de campesinos (13) que a su vez son los dueños de esta instalación (accionista). De esta forma, ellos producen el material para fermentar y reciben como producto terminado: electricidad, calor y biofertilizantes. La diferencia entre esta planta y las plantas típicas alemanas es notable. Las plantas típicas aquí son semejante a las que se aprecian en la maqueta de la estación experimental de la Universidad de Hohenheim (Figura 1). En este caso, las plantas de biogás aquí utilizan la co-fermentación de excretas vacunas o porcinas con sustratos agrícolas, los cuales son generalmente preparados para este fin en silos tipo bunker, el sustrato agrícola más utilizado con estos fines es maíz, oero otros sustratos y mezclas de estos tambien son utilizados. En el caso delo maíz, se cosecha toda la planta, se trocea, se coloca en el silo bunker y posteriormente una vez convertido en silaje, se alimenta a la planta de biogás como sustrato. En la maqueta se pueden apreciar a escala reducida detalles de una planta típica alemana. A continuación se ejemplifica con figuras, lo expuesto con respecto a esta planta de biogas de residuos solidos (Figuras.1-10).

### Caso cubano

En Cuba de acuerdo con [Suárez et al. \(2021\)](#) existe un potencial de producción de biogás ascendente a 136533211m<sup>3</sup> anuales, con un valor energético de 75289tep/año y un potencial de generación de electricidad de 245760MWh/año. Los biodigestores que se usan en Cuba generalmente no superan los 90m<sup>3</sup> de capacidad. Las principales tecnologías difundidas son los de cúpula fija o modelo chino y los tubulares plásticos. Otra tecnología que se ha comenzado a introducir son los biodigestores de laguna cubierta, apropiada para grandes masas de animales estabulados y para la generación de electricidad. Aunque requieren una mayor inversión inicial, tienen menor costo de inversión por metro cúbico de capacidad de digestión. Estos biodigestores, que superan los miles de metros cúbicos, requieren geomembranas sintéticas, generadores de electricidad y otros equipos y componentes auxiliares importados. En una evaluación realizada por el MINAG en el año 2020, que abarcó 138centro porcinos, 4198convenios porcinos, 1999vaquerías y 290granjas avícolas, se aprecia un potencial de generación eléctrica de

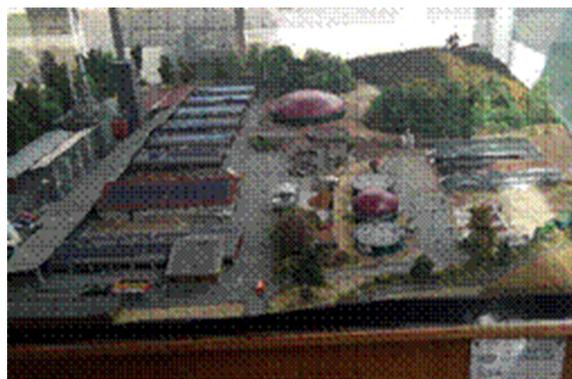


FIGURA 1. Maqueta de un biodigestor asociado a instalaciones vacunas: Archivo del autor.



FIGURA 2. Detalles de los sustratos frescos destinados a la fermentación (empacados). Observe que en algunos casos están cubiertos con nylon. Fuente: Archivo del autor.



FIGURA 3. Silo tipo bunker para fermentación del maíz (ensilaje) para su posterior biofermentación. Observe el techo de la instalación cubierto de paneles fotovoltaicos, Fuente: Archivo del autor.



FIGURA 4. Detalles de sustratos sin digerir (a) y digeridos (b) evacuados del digestor 1. Se observa el digestor 1abierto para extracción de material digerido y su posterior llenado. Fuente: Archivo del autor.

807552MW.h/año, equivalente a 241782t/año de combustible, que evita emitir 3,6MM t de CO<sub>2</sub> eq/año. Dicho potencial permite producir 2500t/año de bioabonos, necesarios para mejorar suelos muy degradados. Se identificaron 2290 biodigestores, funcionan 1589. De esta cifra 1558 pertenecen al sector cooperativo y campesino y 31 al sector estatal; de las 6625 unidades ganaderas (138 centro porcinos, 4198 convenio porcinos, 1999 vaquerías y 290 granjas avícolas), sólo el 34,6% posee biodigestores y solo en el 24% de ellas están en funcionamiento. El principal uso del biogás en Cuba es en cocinas de GLP adaptadas a biogás. Hay experiencias en cocinas, ollas arroceras, refrigeradores, lámparas de alumbrado y calentadores de agua diseñados para utilizar biogás, así como pequeños generadores de electricidad importados, principalmente a través de proyectos como Biomasa-Cuba, pero el aprovechamiento del biogás no supera el 10-20%.

### Grandes biodigestores

En el municipio Martí, en la provincia de Matanzas, hay dos biodigestores de laguna cubierta en operación. El mayor tiene una capacidad de 4000m<sup>3</sup> y se ubica en un centro porcino de AGROFAR. Este equipo, apoyado por Biomasa-Cuba, da tratamiento a los residuales de 11000 cerdos y cuenta con un generador de 120kW; el otro biodigestor en operación, con 1700m<sup>3</sup>, está en un centro porcino de GEGAN y tiene asociado un generador de 80kW; ambos entregan la electricidad generada al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Se encuentra en construcción otro biodigestor con dicha tecnología, con similar diseño y apoyo de los proyectos Biomasa y Bioenergía, liderados por la Estación Experimental „Indio Hatuey“ (EEIH), a un 85% de ejecución de la obra. Las plantas de producción de biogás en Cuba son utilizando la monofermentación de excretas porcinas o vacunas. Son plantas de pequeño y mediano formato, las cuales siempre están asociadas a plantales porcinos o vacunos con el objetivo de producir energía a pequeña escala (cocinación y electricidad). Por otra parte, el aprovechamiento de los efluentes de los biodigestores como abono orgánico ha sido reportado por varios investigadores entre ellos [Hernández et al. \(2008\)](#); [Utría et al. \(2008\)](#); [Negrin y Jiménez \(2012\)](#); [López et al. \(2017\)](#); [Martínez y Francesena \(2018\)](#); [Odales et al. \(2020\)](#); [Martínez et al. 2021](#); [Martínez et al. \(2021\)](#), destacando sus bondades y la posibilidad de utilizarlos como sustitutos de importaciones y como mejoradores de suelo.

En este trabajo, se ha podido apreciar que en el caso cubano, existen unas pocas plantas de gran formato, pero nada semejante a lo que se presenta aquí. El tipo de instalación que se discute en este trabajo es de gran formato y totalmente diferente en sus tecnologías de construcción y operación con respecto a las plantas cubanas actuales. Sin embargo, sería interesante poder valorar este tipo de planta en un



**FIGURA 5.** Vista exterior de la entrada a los 5 digestores. Fuente: Archivo del autor.



**FIGURA 6.** Exteriores de la planta, donde se aprecia el tanque para almacenar el excedente del agua caliente generada. Fuente: Archivo del autor.

formato más pequeño en Cuba. Para eso se necesita un inversor extranjero. Ya que la ventaja de este tipo de planta pudiera ser la no asociación a ningún plantel porcino o vacuno. Claro está, al depender totalmente de sustratos sólidos, se tendría que garantizar toda la infraestructura para producirlos y prepararlos para el proceso de biodigestión de sustratos sólidos. De lograr lo anterior, quedaría el conocimiento de si es posible o no, este tipo de tecnología en el caso cubano. Finalmente la gran incógnita será: Que obtiene el inversor extranjero si decide llevar a cabo un proyecto de este tipo en Cuba?. A nuestro criterio: Promocionar esta tecnología en países del tercer mundo y demostrar

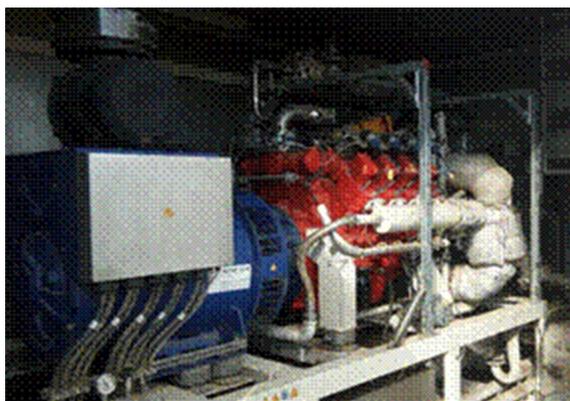
su factibilidad económica a pequeña escala. Ya que a gran escala en el caso de la Union Europea esta suficientemente demostrado.

### DISCUSION

Sin lugar a dudas, el conocimiento de lo que se quiere y se podría hacer en las tecnologías de fermentación de residuos sólidos, es una vía a futuro del estudio de este tema en Cuba. En el caso de Alemania eso ya esta demostrado hoy en dia. En el caso cubano es una opción a valorar que pudiera alcanzarse un día no muy lejano, con la ayuda de la inversión extranjera. Sin embargo, siendo realista, mucho camino por recorrer le falta a Cuba para poder utilizar con eficiencia las diversas fuentes renovables de energía, pero lo primero que debe quedar claro, es que sin investigación y desarrollo no es posible llegar a solventar los problemas energéticos del país. En esta dirección, la utilización de las biomásas agropecuarias es una de las muchas alternativas que pueden ser utilizadas, pero al igual que en otras esferas del desarrollo del país, se necesita voluntad política y económica para dar pasos que lleven al país a lograrlo. Estudiar y analizar todas las alternativas dentro de este tipo de tecnologías (producción de biogas), puede llevarnos a conocer cuales serían factibles de introducir en el caso Cubano. En estos momentos donde el país atraviesa por una crisis con los combustibles excepcional (conociendo que aproximadamente el 60% de la generación de electricidad en Cuba es partir de combustibles fósiles en plantas termoenergéticas), sería muy atinado reflexionar en la forma de salir de esa penosa situación de una vez y por todas, con el apoyo de las fuentes renovables de energía. Lo cual es factible, posible y necesario para lograr una independencia energética a traves de nuestros propios recursos internos.

### CONCLUSIONES

La tecnología para la producción de biogás con sustratos sólidos es ampliamente conocida y en constante desarrollo en Alemania y Europa. Todo el paquete tecnológico se encuentra normado con normas nacionales e internacionales de obligatorio cumplimiento. En estos momentos, Alemania está tratando de exportar dicha tecnología a los países en desarrollo. Algunos países africanos ya se interesan en el tema. Cuba pudiera estar en la esfera de influencia de estas tecnologías con respecto a Centro y Sur América. No sería nada descabellado tratar de probar una estación de este tipo de pequeño fomato con el propósito de ganar conocimiento y valorar su posible viabilidad técnico-económica. En todo nuevo proyecto, siempre será necesario correr riesgos. Un aspecto importante, será definir los socios extranjeros y sus intereses en la participación en proyectos de este tipo en Cuba.



**FIGURA 7.** Detalles de los motores de combustión interna que convierten el biogás en electricidad. Fuente: Archivo del autor.



**FIGURA 8.** Detalles del tanque para almacenar el biogás producido. Fuente: Archivo del autor.



**FIGURA 9.** Detalles del programa para controlar la operación de la instalación. Se observan las duchas para exparcir el inóculo y las tuberías para captar el biogás. Fuente: Archivo del autor.



**FIGURA 10.** Detalles del seguimiento del proceso en cada digester mediante la sala de control. Fuente: Archivo del autor.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Hohenheim, específicamente al State Institute of Agricultural Engineering and Bioenergy.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HERNÁNDEZ, M.F.; PRIETO, H.C.R.; SONIA, C.; GONZÁLEZ, J.; SANCHEZ, J.V.: *Los biodigestores como aportadores de energía y mejoradores del suelo, [en línea]*, 2008, Disponible en: Recovered from <https://docplayer.es/45125012-Los-biodigestores-como-aportadores-de-energia-y-mejoradores-del-suelo.html>.
- KTBL: “KTBL-Feldarbeitsrechner”, 2018.
- LÓPEZ, D.E.; CALERO, H.A.; GÓMEZ LEÓN, L.Y.; GIL, U.C.Z.; HENDERSON, D.C.; JIMENEZ, J.C.: “Agronomic effect of the biosolid in tomato cultivation (*Solanum lycopersicum*): biological control of *Rhizoctonia solani*.”, *Cultivos Tropicales*, 38(1): 13-23, 2017, ISSN: 0258-5936.
- MARTÍNEZ, H.C.; FRANCESENA LÓPEZ, Y. (2018) ‘Tratamiento y utilización de efluentes instalaciones de biogás como abonos orgánicos, revisión y análisis’, *Centro Agrícola*, 45(2): 83-92. ISSN: 0253-5785.
- MARTÍNEZ, H.C.; SÁNCHEZ, J.J.A.; REINOSO, P.M.; RODRÍGUEZ-URRUTIA, U.A.; MARTÍNEZ, F.N.R. (2021) ‘Uso de efluentes de lagunas de oxidación del complejo “Carlos Baliño” como fertilizantes orgánicos’, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(1). ISSN: 2071-0054.
- MARTÍNEZ, H.C.; GARCÍA, L.Y.; OECHSNER, H. (2021) ‘Biogas Plants in Germany: Revision and Analysis’, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 30(4): 88-100. ISSN: 1010-2760.
- NEGRIN, B.A.; JIMÉNEZ, P.Y.: “Evaluación del efecto agronómico del biosólido procedente de una planta de tratamiento por digestión anaerobia de residuales pecuarios en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L)”, *Cultivos tropicales*, 33(2): 13-19, 2012, ISSN: 0258-5936.
- NORTHDATA: *BioGas Leinfelden-Echterdingen, [en línea]*, Northdata, 2013, Disponible en: por [www.northdata.com/Biogas+Leinfelden-Echterdingen+Amtsgericht+Stuttgart+HRA+721484](http://www.northdata.com/Biogas+Leinfelden-Echterdingen+Amtsgericht+Stuttgart+HRA+721484).
- ODALES, B.L.; LÓPEZ, D.E.; LÓPEZ, G.L.; JIMÉNEZ, H.J.; BARRERA, C.E.L.: “Biofertilizer potential of digestates from small-scale biogas plants in the Cuban context”, *Revista de Ciencias Agrícolas*, 37(2): 14-26, 2020, ISSN: 0120-0135.
- SUÁREZ, J.; GUARDADO, J.; CEPERO, L.: “El estado del biogás en Cuba”, *CUBAENERGÍA*, 7, Boletín informativo renovable.cu. Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), CITMA, La Habana, Cuba, 2021, ISSN: 2219-6919.
- UTRIA, E.; CABRERA, J.; ESCOBAR, I.; MORALES, D.; FERNÁNDEZ, A.; TOLEDO, E.: “Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en la planta de tomate”, *Revista Chapingo. México. Horticultura*, 14: 38-39, 2008.
- VDI-RICHTLINIEN-4630: *Fermentation of organic material characterization of substrate, sampling collection of material data, fermentation tests*, Inst. VDI-RICHTLINIEN, Dusseldorf, 2006.

Carlos M. Martínez-Hernández, Dr.C., Prof. Titular, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5.5. CP: 54830. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. Tel: 53-42-281692. Fax: 53-42-281608.

Hans Oechsner, Dr.C., Prof. Titular, University of Hohenheim. State Institute of Agriculture Engineering and Bioenergy. Germany. e-mail: [hans.oechsner@uni-hohenheim.de](mailto:hans.oechsner@uni-hohenheim.de)